

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：12301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18K02655

研究課題名(和文)メタ認知的活動の促進による科学的能力の育成に関する研究

研究課題名(英文)A Study of Fostering the Scientific Ability by Promoting Metacognitive Activity

研究代表者

栗原 淳一(krihara, Jun-ichi)

群馬大学・共同教育学部・教授

研究者番号：90583922

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文):本研究では、理科授業において実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる四つの要素(「条件・アプローチの整理」、「具体的な操作・手順」、「現象との対応」、「結果の見通し」)を導出した。また、四つの要素をメタ認知的知識として批判的に思考するプロセスを基軸とした実験計画立案場面の指導方法を考案し、その効果を検証した。その結果、本指導方法は、実験計画を立案・記述させる上で効果的な指導方法となり得ることが示唆された。また、特に批判的思考プロセスを明確に学習活動に位置付ける場合、メタ認知的知識の意味理解を促すために、学習者同士の話し合い活動が重要となる等の授業デザインの重要な視点が導出できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学校現場において、学習者に実験計画を立案・記述させる際に検討させるべき要素は整理されておらず、それを踏まえた具体的な指導は確立されていない現状である。本研究は、その要素を導出し、教師だけでなく学習者もその要素の具体を理解した上で、学習者が実験計画を立案・記述できる効果的な指導方法を考案できた。批判的な思考プロセスを基軸とした指導方法であり、学習者が主体的に自己を調整する学びにつながるものであるため、これからの我が国の理科教育実践に大いに活用できる成果となった。

研究成果の概要(英文): In this research, four factors that make learners consider when planning and describing an experiment plan in a science class (organization of conditions and approaches, specific operations and procedures, correspondence between phenomena and models, prospects of experimental results) was derived. In addition, we devised a teaching method for the experimental planning scene based on the process of critically thinking about the four elements as metacognitive knowledge, and verified its effect. As a result, it was suggested that this teaching method could be an effective teaching method for formulating and describing an experimental plan. In addition, especially when critical thinking processes are clearly positioned in learning activities, important viewpoints of lesson design could be derived, such as the importance of discussion activities between learners in order to promote understanding of the meaning of metacognitive knowledge.

研究分野：理科教育学

キーワード：実験計画 メタ認知的活動 批判的思考 指導方法

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 理科における科学的な能力（科学的探究を評価して計画する能力）育成の必要性

近年、国際標準としての学力観や我が国の教育課題との関連性を踏まえた、学校教育における理科指導方法の開発が求められている。特に、OECD が実施している PISA 調査で測定している科学的リテラシーは、我が国の理科教育に影響を及ぼしている学力観の一つであり、その育成は重要な課題である。PISA2015 調査における科学的リテラシーの中核をなす科学的能力の下位能力には、「現象を科学的に説明する能力」、「科学的探究を評価して計画する能力」、「データと証拠を科学的に解釈する能力」の三つがあり、我が国の子どもはどの能力の平均得点も世界的にみて高い。しかし、我が国の三つの能力の平均得点を比較すると、「科学的探究を評価して計画する能力」は他の二つの能力に比べ低く<sup>1)</sup>、理科教育において「科学的探究を評価して計画する能力」の育成が課題となっている。そこで本研究では、「科学的探究を評価して計画する能力」を、理科の探究過程で発揮される「仮説を検証する実験計画を立案する力」と捉え、これを育成する指導方法の開発とその効果検証が必要と考えた。

### (2) メタ認知的活動の重要性と指導方法開発に関する課題

「仮説を検証する実験計画を立案する力」を育成する指導方法を開発するにあたり、メタ認知的活動を促す指導方法に着目した。メタ認知的活動は、メタ認知的知識を基にして目的や目標にしたがって認知過程をモニタリングすること、さらには認知過程を調整・コントロールするものからなる活動とされている。このモニタリングとコントロールを子どもが自ら行うことで、理科授業における仮説を検証するための実験計画を評価・修正していくことが示唆されている<sup>2)</sup>。しかし、モニタリングとコントロールをどのようにすれば促すことができるかは十分検討されていない。

そこで本研究では、メタ認知的活動を促すために批判的思考のプロセスを組み込んだ指導方法に着目することとした。理科授業の実験計画を立案する時に、仮説を検証できるか否かという視点で実験計画が妥当であったかをモニタリングすることが重要となる。ここでは、批判的に思考し、その思考に基づいて検証計画を修正（コントロール）していくと考えた。そこで、モニタリングとコントロールからなるメタ認知的活動を促すために批判的思考のプロセス「情報の明確化、情報の分析、推論、行動決定」<sup>3)</sup>を組み込むことを考えた。

## 2. 研究の目的

本研究では、以下の2点を目的とした。

理科授業において、実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる要素を導出する。

導出した要素を踏まえ、批判的思考のプロセスを基軸とした理科の実験計画立案場面の指導方法を考案し、実践を通してその効果を実証する。

## 3. 研究の方法

### (1) 実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる要素の導出

英国ナショナルカリキュラムのキー・ステージ4（義務教育最終段階）における領域1「科学的探究」の「計画すること」の記述<sup>4)</sup>、及び先行研究で整理された実験計画の構成要素<sup>5)</sup>をもとにして、実験計画を立案・記述させる際に検討させる要素を抽出・整理する。その際、これらの記述や要素から仮説設定に関わる要素を取り除く。そして、原因既知型と原因未知型のそれぞれの実験に至る説明仮説を検証するための実験の迫り方と照らし合わせ、統合・整理して要素を抽出する。

### (2) 批判的思考プロセスを基軸とした理科の実験計画立案場面の指導方法の効果検証

(1)の要素を具体的にメタ認知的知識として活用し批判的思考プロセスを基軸とした指導方法を考案し、その実践により、メタ認知的知識の獲得やメタ認知的活動が促され実験計画が立案・記述できるかを検証する。また、メタ認知的知識を基にした批判的思考プロセスを導入する実験計画立案場面の授業デザインの重要な視点を導出する。

## 4. 研究成果

### (1) 実験計画を立案させる際に学習者に検討させる要素の導出

キー・ステージ4の「計画すること」の記述で仮説設定に関わる要素を取り除くと、「適切な方略を計画すること」、「収集しようとするデータの範囲と程度、技法、装置を決定すること」というキーワードが抽出できた。福岡・下山（1987）の構成要素から仮説設定に関わる要素を取り除くと、「アプローチの決定」、「道具の列挙」、「変数の操作」、「実験手順の決定」、「結果の解釈」が抽出できた。ただし、「道具の列挙」については、学習者自身が一から必要な道具を検討することは難しいと判断し、除外した。これら抽出した記述や要素について仮説を検証する実験の迫り方と照らし合わせて検討した結果、実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる要素は、以下の四つに整理できた。

『条件・アプローチの整理』：変える条件・揃える条件及び比較する測定値を整理すること。

『具体的な操作・手順』：条件・アプローチの整理を踏まえた具体的な実験の操作や手順を検討すること。

『現象との対応』：使用する装置や具体的な操作・手順は実際の現象とどんな対応関係にあるかを検討すること。

『結果の見通し』：仮説を検証するために必要なデータの範囲や程度を検討すること。

(2) 批判的思考プロセスを基軸とした理科の実験計画立案場面の指導方法の効果検証

ルーブリックを活用した指導方法（対象：条件制御を行う実験計画を立案・記述する指導）

実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる要素ごとに評価基準（ルーブリック）を作成するとともに、具体的にどのように立案・記述すればよいかを視覚的に学習者に提示できる「ビジュアルルーブリック」を作成した（図1）。また、「ビジュアルルーブリック」を活用した2次からなる学習プログラムを次のように考案した。

第1次では、まず、教師が本ルーブリックを学習者に1枚ずつ配付し、「条件の整理」のA基準とB基準の違いを話し合わせ、違いを学習者に発表させる。その際、教師は学習者の良い気づきや考えを価値付けて基準の意味や記述の仕方を理解させるとともに、本ルーブリックの使用価値・参照価値を高める。次に、「具体的な操作・手順」、「結果の見通し」について順に、上記の指導を行う。

第2次では、条件を制御して行う実験となる学習問題について、クラス内で仮説を設定しておく。この時、仮説は「 $\text{〇}$ を $\text{〇}$ すると $\text{〇}$ が $\text{〇}$ なる」という文型に整える。独立変数である

を学習者が複数挙げることになれば、条件を制御する実験を立案することになる。実験計画立案場面では、まず実験の計画を一人で記述させる。次に、一人で記述できなかった部分や記述に不安がある部分についてグループで発表させ、どのような記述したらよいかを相談させる。最後に、友達と相談させずに各自の実験計画を修正させ完成させる。

この学習プログラムを、コイルと磁石の相互作用で誘導電流が得られることを学習する授業（中学校第2学年）に適用し、群馬県公立中学校第2学年88名を対象に実施した。学習者が立案・記述した実験計画をルーブリックによって評価し、各基準に相当する人数を分析した。

その結果、第1次の指導によって、本ルーブリックの基準の意味と各要素の記述の仕方を十分に理解できたことが分かった。学習者に本ルーブリックの基準の違いを考えさせ、学習者の発表を教師が価値付ける方法によって、「実験計画で何をどのように記述すべきか」という生徒のメタ認知的知識を獲得させることができたと考えられる。また、それによってメタ認知的活動が促され、実験計画を記述できたと考えられる。第2次において、グループでの相談後にB基準の記述を修正しA基準に移行させた割合は、どの要素についても1%程度であり、相談前より基準を下げることはなかった。また、グループでの相談前にA基準であったにも関わらず、相談後に記述をよりよく修正した学習者も見られた。さらに、理由をつけて自分の記述がA基準であることを確認する学習者同士のやりとりがあった。

このように、第2次のグループでの活動は、「実験計画で何をどのように記述すべきか」という学習者のメタ認知的知識の定着をより強固にするものであることが示唆された。

以上のことから、本学習プログラムは、実験計画を立案・記述できるようにさせる効果的な指導方法となり得ることが分かった。

批判的思考プロセスを明確に学習活動に位置付けた指導方法

次の(a)～(d)のプロセスで行う指導を考案した。なお、クラス全体で探究する問題についての仮説を学習者全員に把握させてから行うものとした。

(a)教師は、実験で使用する器具を示した上で、仮説を確かめるための実験計画を記述するよう学習者に指示し、他者と相談させることなく実験計画を記述させる。この時、口頭による指示だけでなく、指示を板書する。これにより学習者は、仮説を確かめる実験計画を記述するという目標の焦点化・明確化を行う（情報の明確化）。

(b)教師は、実験計画の記述には四つの要素が必要であることを学習者とのやり取りを通して具

**実験計画ガイド**

目的: 光電池による電流の向きや大きさを変化させるにはどうしたらよいか。

仮説: 光電池への光の当て方を変えれば、発生する電流の値は変化する。  
仮説: 磁石の動きを変えれば、発生する電流の向きは変化する。

**実験計画**

**I. 条件の整理**

	実験①	実験②
変える条件	光の当て方	光の強さ
変えない条件	光の強さ 磁石の動き	

**II. 具体的な操作・手順**

実験①: (1) 右の図のように、光電池と磁石を接続した回路を作る。  
(2) 光電池を日光に向けたとき、向けていないとき、検流計の針のふれを観る。  
※ 光の強さは検流計の針が振れない時に、検流計で行って、光電池と検流計、モーター、スイッチは変えずに実験する。

実験②: (1) 右の図のように、光電池と検流計を接続した回路を作る。  
(2) 光電池を向けて、1個の磁石でねじ込んだ日光を当てるときと、2個の磁石でねじ込んだ日光を当てるとき、検流計の針のふれを観る。

**III. 結果の見通し**

条件	1回目	2回目	3回目	平均値
当てたとき				
当てないとき				

表2: 実験②の結果

条件	磁石	針のふれの様子
1個の磁石でねじ込んだとき		
2個の磁石でねじ込んだとき		

**実験計画ガイドの活用状況**

基準	条件の整理	具体的な操作・手順	結果の見通し
A	仮説を確かめるための「変える条件」と「変えない条件」を記述している。	「変える条件」と「変えない条件」を並べて、実験の立案と具体的な操作・手順を記述している。	結果が予想できるような条件を整理し、データの見直しや結果の見通しを記入している。
B	仮説を確かめるための「変える条件」を記述している。	実験の立案と具体的な操作・手順を記述している。	結果が予想できるような条件を整理している。
C	「変える条件」と「変えない条件」を記述していない。	実験の立案と具体的な操作・手順を記述していない。	結果が予想できるような条件を整理していない。

図1 ビジュアルルーブリック

体的に整理した上で教示し、その情報が信頼できるものであることをとらえさせる（推論の基盤の検討）。

(c)教師は、(a)で記述させた実験計画に(b)でとらえさせた四つの要素が記述できているかを自己評価させ、不備・不足している部分をどのように記述したらよいかをグループで話し合わせる。これにより学習者は、四つの要素を基準として、実験計画を修正・改善する方法を思考する（推論）。

(d)教師は、グループで話し合ったことを生かして最初に記述した実験計画を修正・改善させ、学習者が最適だと考える実験計画を記述させる。これにより(a)から(c)のプロセスに基づき、実験計画の記述に必要な四つの要素を組み入れた実験計画を記述する（行動決定）。

この指導を、単元「天気の変化」の「雲の発生」を学習する授業（中学校第2学年）に適用し、群馬県内の公立A中学校第2学年100名を対象に実施した。学習者が適切な実験計画を記述できたかを調査するため、(a)の場面と(d)の場面において学習者が個々に記述した実験計画を評価した。また、授業の様子をビデオカメラで記録し、主に発話を抽出・分析し、批判的思考のプロセスモデルを実際にどのように辿るかという学びの様態を分析した。

その結果、多くの学習者は、場面(a)では不備の多い実験計画を記述しており、場面(d)では四つの要素を基準としたポイントを踏まえ適切な実験計画を記述したことが分かった。(a)から(d)の批判的思考プロセスを組み入れた指導は、実験計画を立案・記述できるようにさせる効果的な指導方法となり得ることが分かった。

また、(a)から(d)の場面における学びの様態から、授業デザインの重要な視点として、以下の2点を導出できた。

- ・実験計画を発想・記述させるには、その行動目標の提示だけでなく、発想・記述に必要な基本的なメタ認知的知識をイメージさせる必要がある。実験計画を発想・記述するという目標を学習者に明確にもたせるには、発想・記述に必要な基本的なメタ認知的知識の検討とセットで行うことが重要となる。
- ・実験計画を発想・記述するために必要な基本的なメタ認知的知識に関する意味理解を促すために、自分の考えを表明したり、根拠をもって他者の意見や考えを整理したりする話し合いの活動が重要となる。

#### <引用文献>

- 1) 国立教育政策研究所(2016)『生きるための知識と技能 6 OECD 生徒の学習到達度調査(PISA)2015年調査国際結果報告』明石書店。
- 2) 茂木孝浩・鈴木悠一・栗原淳一・益田裕充(2017)「物理基礎の授業における科学的な探究の能力の育成に関する事例的研究 - 自己調整を促す「金属の比熱測定実験」を事例として - 」『臨床教科教育学会誌』17(1), 95-104。
- 3) 楠見孝・子安増生・道田泰司編著(2011)『批判的思考力を育む-学力と社会人基礎力の形成』有斐閣。
- 4) 小倉康(2004)『英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する研究』国立教育研究所。
- 5) 福岡敏行・下山賢治(1987)「実験計画能力の評価法と児童の実態」『横浜国立大学教育学部教育実践研究指導センター紀要』3, 35-52。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 栗原淳一, 湯本裕貴, 柏木純, 益田裕充	4. 巻 69
2. 論文標題 理科の実験計画を立案・記述する際のメタ認知的知識を獲得させる指導に関する研究 - 実験計画ビジュアルルーブリックを活用した学習プログラムの実践 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 群馬大学共同教育学部紀要自然科学編	6. 最初と最後の頁 41-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 栗原淳一, 青木利憲, 栗原頌太, 益田裕充	4. 巻 68
2. 論文標題 小学校理科において実験計画を立案させる指導方法 - 実験前後の測定の必要性を考えさせる効果 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 群馬大学教育学部紀要 自然科学編	6. 最初と最後の頁 37-43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 栗原淳一, 村田稜輝, 佐瀬隼人, 益田裕充	4. 巻 21
2. 論文標題 批判的思考のプロセスを基軸とした実験計画立案場面の理科授業デザインに関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 群馬大学教科教育学研究	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 栗原淳一
2. 発表標題 理科授業において実験計画を立案・記述させる際に学習者に検討させる要素
3. 学会等名 日本理科教育学会第70回全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木原義季, 栗原淳一, 山田貴之
2. 発表標題 批判的思考とメタ認知的活動を促す指導が実験計画立案力の育成に与える効果 - 小学校第6学年「水溶液の性質」を事例として -
3. 学会等名 2020年度第5回日本科学教育学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田翔吾, 栗原淳一, 山田貴之
2. 発表標題 中学校理科におけるメタ認知と批判的思考に関する実態調査 - 第1学年生徒を対象とした質問紙の分析を通して -
3. 学会等名 2020年度第5回日本科学教育学会研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 湯本裕貴, 栗原淳一
2. 発表標題 ループリックを活用した理科の実験計画立案場面の指導に関する研究
3. 学会等名 第7回日本科学教育学会研究会 (2019年度)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村田稜輝, 栗原淳一
2. 発表標題 理科授業において実験計画を記述させる指導に関する研究
3. 学会等名 第7回日本科学教育学会研究会 (2019年度)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	益田 裕充  (Masuda Hiromitsu)  (30511505)	群馬大学・教育学部・教授   (12301)	
研究 分担者	山田 貴之  (Ymada Takayuki)  (90824277)	上越教育大学・大学院学校教育研究科・准教授   (13103)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------